

EFFECTO DEL RETRASO ENTRE LA COSECHA Y EL INICIO DE ENFRIAMIENTO SOBRE LA CALIDAD DE FRUTOS DE PIÑA

Joheny Solano-Maroto¹, Marco Vinicio Sáenz-Murillo^{2/*},
Johanny Castro-Chinchilla³, Maricruz Ramírez-Sánchez⁴

Palabras clave: Retraso enfriamiento; calidad; *Ananas comosus*; postcosecha.

Keywords: Cooling delay; quality; *Ananas comosus*; postharvest.

Recibido: 09/03/2020

Aceptado: 23/06/2020

RESUMEN

Introducción. Con frecuencia, la fruta de piña que se cosecha, no puede ser enfriada y empacada inmediatamente, debido a la distancia que existe entre el campo hasta la planta empacadora. La industria indica que seis horas es el tiempo máximo conveniente, pero no hay información publicada al respecto. **Objetivo.** Determinar el efecto del retraso en iniciar el enfriamiento sobre la calidad de piña (*Ananas comosus*) var. Dorada Extra Dulce, con simulación de transporte. **Materiales y métodos.** Se realizaron 4 ensayos en diferentes zonas y épocas (seca y lluviosa). La fruta recién cosechada fue expuesta a temperatura ambiente durante 6, 12, 24 y 48 horas, luego de estos periodos, cada lote de fruta fue desinfectado con cloro a razón de 150 mg.l⁻¹. Se le aplicó fungicida prochloraz 300 mg.l⁻¹, se enceró (cera con base de aceite vegetal), se enfrió por aire forzado durante 4-5 horas hasta alcanzar 12-13°C. Se realizó luego una simulación de transporte y finalmente se almacenó por 21 días a 7,5°C y 85-90% HR.

ABSTRACT

Effect of the delay between harvest and the start of cooling on the quality of pineapple fruit. Introduction. Frequently, harvested pineapple fruit experience cooling delays due to the distance from the field to the packing plant. The industry reports 6 hours as the maximum convenient time however, there is no published information about it. **Objective.** To determine the effect of the time between harvest and cooling on quality of pineapple (*Ananas comosus*) var. Golden Extra Sweet, with transport simulation. **Materials and methods.** Four trials were conducted in different regions and seasons (dry and rainy season). Freshly harvested fruits were exposed to ambient conditions for 6, 12, 24 and 48 hours before cooling, after these periods fruits were disinfected with chlorine at 150 mg.l⁻¹. Prochloraz fungicide at 300 mg.l⁻¹ was applied, fruits were waxed (vegetable oil based wax), packed, and forced air cooled for 4-5 hours until they reached 12-13°C. They were then subject to transport simulation and stored for 21 days

* Autor para correspondencia. Correo electrónico: marco.saenz@ucr.ac.cr

1 Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas, Laboratorio de Tecnología de Poscosecha, San José, Costa Rica.  0000-0002-0159-6673.

2 Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas, Laboratorio de Tecnología de Poscosecha, San José, Costa Rica.  0000-0001-6718-0622.

3 Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas, Laboratorio de Tecnología de Poscosecha, San José, Costa Rica.  0000-0003-4866-3295.

4 Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas, Laboratorio de Tecnología de Poscosecha, San José, Costa Rica.  0000-0002-8933-7931.

Se evaluó el impacto de los tratamientos sobre variables de calidad: pérdida de peso, color externo e interno, moho en pedúnculo, deshidratación parcial, translucidez, firmeza, acidez y sólidos solubles. **Resultados.** Después de 12 horas de retraso en el enfriamiento, la calidad de la fruta disminuyó, con un impacto más evidente en la deshidratación, el desarrollo de moho y reducción en la firmeza de la pulpa. El color externo e interno, la translucidez, la acidez titulable y los sólidos solubles totales no se vieron afectados. **Conclusiones.** El retraso del enfriamiento tuvo un impacto negativo en la calidad de la fruta de piña, especialmente en el desarrollo de moho y la deshidratación parcial de la fruta y un impacto menor en la firmeza de la pulpa. Bajo las condiciones del presente estudio, el retraso máximo permitido en el enfriamiento de la fruta fue de 12 horas.

INTRODUCCIÓN

La piña es una fruta con posicionamiento en los mercados de Norte América y Europa principalmente, lo cual se debe, en gran medida, a la utilización de las mejores técnicas e investigación para la producción y preservación de la fruta (CANAPEP 2017).

Una de las prácticas fundamentales para mantener la calidad de la fruta es el enfriamiento de los frutos luego de cosecha; esta técnica afecta la tasa respiratoria de las frutas lo que ocasiona una disminución de la misma, aunque preserva los azúcares, ácidos orgánicos y vitaminas (Figueroa *et al.* 2010). Asimismo, reduce el efecto negativo de las enfermedades al retrasar la germinación de esporas y el crecimiento micelial de los patógenos (Mitcham *et al.* 2000).

Diversas personas autoras (Duan *et al.* 2020, Megersa 2017) mencionan que el objetivo de enfriamiento rápido de productos frescos es reducir la tasa respiratoria y, por ende, extender

at 7,5°C and 85-90% R.H. Treatment effects were evaluated on quality variables: weight loss, external and internal color, mold on peduncle, partial fruit dehydration, flesh translucency, flesh firmness, acidity and total soluble solids.

Results. After 12 hours of cooling delay, fruit quality declined, with more evident impact on dehydration and mold development, and reduction o pulp firmness. External and internal color, translucency, titratable acidity and total soluble solids were not affected. **Conclusions.** Cooling delay had a negative impact on pineapple fruit quality, especially on mold development and partial fruit dehydration and a minor impact on flesh firmness. Under the conditions of this study, maximum allowable delay in cooling the fruit was 12 hours.

la vida útil, así como reducir el calor de campo acumulado en los tejidos; asimismo, mejorar la eficiencia de almacenes refrigerados y sistemas de transporte para mantener temperaturas constantes. El preenfriamiento es obligatorio para productos como kiwi, fresa, mora, frambuesa, pera, ciruelas, algunas variedades de manzana y casi todas las hortalizas de hoja. Sin embargo, el enfriamiento, inmediatamente después de cosecha, no es tan crítico para productos de baja tasa respiratoria a la cosecha para frutos como el banano, plátano, algunas variedades de manzana, pepino y otros.

Personas autoras como Hiroaki *et al.* (2013) mencionan que en algunos productos, el retraso de entre 12 y 24 horas para iniciar el enfriamiento, puede ser beneficioso toda vez que una ligera deshidratación y un ligero aumento en la producción de etileno podrían reducir la susceptibilidad a daños por frío. Luo *et al.* (2018), experimentaron con manzanas y encontraron que un retraso de 4 días redujo la incidencia

de escaldadura suave en un 10 a 15% en comparación con frutos enfriados inmediatamente después de la cosecha y discuten que un ligero estrés, como el inducido por la cosecha y la espera, produjo un aumento de etileno que redujo la susceptibilidad a daños fisiológicos.

En el caso de piña, Tsado (2013), menciona que el enfriamiento rápido no necesariamente debe ser una norma sino que debe decidirse en función de una detallada evaluación, donde se consideran los riesgos climáticos, fisiológicos y patológicos, ya que estos últimos son los de mayor importancia relativa. Por su parte, Liu y Lui 2017 y Liu *et al.* 2019 mencionan que someter frutos de piña a temperaturas de 30°C de forma continua por 24 o 48 horas podría ser beneficioso para la calidad de la piña, ya que este tipo de almacenamiento aumentó la concentración de ésteres por tanto de la intensidad del aroma, sin tener un efecto mayor sobre otras variables de calidad. Por otro lado, Ulloa *et al.* (2015) menciona que frutos de piña pueden perder peso a temperaturas superiores a los 15°C, por lo que al menos a esa temperatura, puede ser importante.

Sabater-Vilar *et al.* (2018) sugieren que el desarrollo de mohos en piña está relacionado con la producción de etileno, debido a estrés, y que bajo condiciones de estrés moderado se susceptibilizó la fruta de piña al desarrollo de mohos, entonces, al agregar filtros absorbentes de etileno, se redujo la incidencia de mohos en la zona peduncular.

En algunos cultivos, se ha determinado el tiempo óptimo que debe transcurrir entre cosecha e inicio del enfriamiento para evitar pérdidas de calidad, por ejemplo, para frutos de arándano, este tiempo no debe sobrepasar las 4 horas (Figueroa *et al.* 2010), mientras que para melón, las frutas deben enfriarse inmediatamente después de cosechadas, en especial si las frutas sobrepasan de 27°C su temperatura interna. Sin embargo, para melones cantaloupe, se ha observado que retrasos de 12 horas, en el inicio del enfriamiento, no ocasionan pérdidas de calidad (Thompson *et al.* 2001).

Para frutos de piña, y en especial para la variedad Dorada Extra Dulce, la industria supone que es necesario someter el fruto a enfriamiento luego de la cosecha, aunque no hay informes locales o regionales, del tiempo que debe transcurrir entre esta y el inicio del enfriamiento y las consecuencias sobre la calidad. De igual forma, pequeñas personas productoras que no poseen instalaciones de empaque propias y deben trasladar su fruta a una empacadora centralizada, someten a sus frutos a períodos de retraso antes del proceso de enfriamiento. Por otro lado, compañías que cuentan con sus propias instalaciones de empaque, en ocasiones, se enfrentan a 2 situaciones: primero a la sobreproducción en ciertas épocas del año y segundo la necesidad de operar la empacadora en horario nocturno para ahorrar costos de energía situaciones que retrasan el ingreso de los frutos al proceso.

Debido a lo anterior, se planteó la presente investigación, cuyo objetivo fue evaluar el efecto del tiempo transcurrido entre cosecha e inicio de enfriamiento, en túneles de aire forzado, sobre la calidad de frutos de piña cv. Dorada Extra Dulce luego de 21 días de transporte simulado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal, localización y tratamientos. La investigación se desarrolló con frutos de piña cv. Dorada Extra Dulce provenientes de 2 zonas productoras de Costa Rica: trópico seco específicamente en Sardinal, provincia de Puntarenas en setiembre (época lluviosa) y diciembre (época seca), y en el trópico húmedo en Muelle de San Carlos, provincia de Alajuela para octubre (época lluviosa) y marzo (época seca). Se utilizaron un total de 4 ensayos idénticos.

Para los 4 ensayos, se seleccionaron frutos de un mismo lote y con 4 a 7 días después de la inducción de maduración en campo con la aplicación de 300 ug.ml⁻¹ de etefón con un volumen de aplicación de 3000 L.ha⁻¹ estos se cosecharon y se trasladaron hasta la planta empacadora. Luego de cosechada, las frutas permanecieron a temperatura ambiente (19-33°C) durante intervalos de

tiempo de espera de 6, 12, 24 y 48 horas antes del ingreso a túneles de enfriamiento por aire forzado. Durante estos períodos de espera, se registró la temperatura ambiente y de la fruta para calcular las unidades de calor (grado-hora) a que estuvo sometido cada lote de fruta durante los diferentes tiempos y ensayos. Los grados hora se calcularon con base en los 18°C, según la sugerencia de Hassan (2011).

Se seleccionó la fruta de acuerdo con las características comerciales de exportación y con color externo entre 0,25 a 1,5, basada en la descripción de la escala de color realizada por Paull y Chen (2003), modificada para efectos de este estudio, para incorporar valores intermedios de color 0,25-0,50 y 1,50. Una vez transcurrido el tiempo de espera determinado para cada tratamiento, desde la cosecha hasta el inicio del enfriamiento, se aplicó a la fruta el proceso poscosecha habitual de la empacadora. Incluyó el lavado y desinfección de la fruta en una solución de hipoclorito de calcio, entre 125 -150 mg.l⁻¹ durante 30 minutos, adicionalmente el recubrimiento de la cáscara con cera a base de aceite vegetal (Frutiver, Química Mundial, Costa Rica y también la aplicación de fungicida prochloraz, (300 mg.l⁻¹ de i.a, Mirage 45 EC, ADAMA.) en la cicatriz de cosecha.

Posteriormente, se colocaron y empacaron 6 frutas en cajas de cartón corrugado; se llevaron a los túneles de aire forzado hasta que la fruta alcanzó una temperatura interna entre 12-13°C, y finalmente, se almacenaron durante 21 días a una temperatura entre 7-8°C y con una humedad relativa entre 90-95% para simular las condiciones típicas de transporte.

Variables evaluadas. Se registró la pérdida de peso acumulada, en porcentaje, a partir del peso individual de las frutas, durante los tiempos

de espera antes del enfriamiento, y a los 21 días después de almacenamiento. Se evaluó también la presencia, o no, de moho en el pedúnculo (incidencia) y el porcentaje del área del mismo cubierto por moho (severidad). Además, se determinó la firmeza en Newton (N) de la pulpa, en 2 puntos equidistantes de la zona ecuatorial de la fruta por medio de un texturómetro digital (Lutron, Shanghai, China, modelo FR-5120) equipado con una punta convexa de 8 mm. Para determinar el porcentaje de sólidos solubles totales, se utilizó un refractómetro digital (Atago, Tokio, Japón, modelo PAL-1); para acidez titulable, se extrajo el jugo de un sección longitudinal de la pulpa de aproximadamente 200 gramos y se realizó titulación con NaOH (0,1 M), los resultados se expresaron como equivalentes de ácido cítrico.

En la cara superior de la fruta (cara expuesta en el empaque comercial) se midió el color externo al inicio y al final del período de almacenamiento con la escala de color comercial, los datos obtenidos se expresaron como porcentaje de cambio con respecto al color inicial. Se determinó, además, la incidencia y severidad de la deshidratación parcial de los frutículos (DPA). Se evaluaron 10 frutículos por fruta, donde se identificaron los afectados con hundimientos en los bordes (incidencia) y cuántos de estos mostraban afectación en más de un 25% de su superficie (severidad). Al inicio y final de almacenamiento, se determinó el porcentaje de cambio relativo de color interno de la fruta, a través de la escala visual utilizada comercialmente (Figura 1). La translucidez de la pulpa se midió como un porcentaje de la longitud de la fruta medida desde la base hasta la inserción de la corona en la fruta que mostró síntomas de translucidez tejidos con líquido en espacios intercelulares que presenta apariencia cristalina o translúcida.

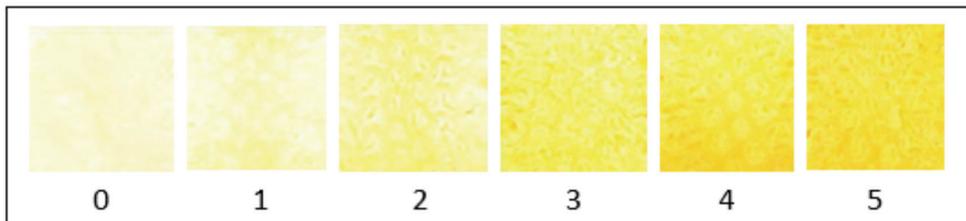


Figura 1. Escala visual de color interno de la fruta de piña.

Diseño experimental y análisis estadístico. El diseño experimental empleado en los 4 ensayos fue un irrestricto al azar con 4 tratamientos (tiempos de espera), cada tratamiento estuvo conformado por 6 repeticiones y la unidad experimental fue constituida por una caja con 6 frutas.

Se realizó un análisis de varianza con una separación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) para las variables de porcentaje de pérdida de peso, firmeza, sólidos solubles, acidez titulable e incidencia y severidad de mohos. Para las variables de color interno y externo de la fruta, nivel y severidad de traslucidez y DPA, se realizó un análisis no paramétrico mediante la prueba de H de Kruskal-Wallis ($p \leq 0,05$). Para todas las variables se realizó regresión lineal, con los datos promedio de los 4 ensayos.

RESULTADOS

Pérdida de peso entre cosecha e inicio de enfriamiento y al finalizar el período de simulación de transporte. Se observa en la Figura 2 que, al incrementarse el tiempo de retraso para entrada a enfriamiento los frutos de piña mostraron mayor pérdida de peso al final de ese período y que esa relación fue lineal, con un R^2 de 0,9738. Durante el período de espera, la mayor pérdida de peso se observó en frutos que estuvieron 48 horas en condiciones ambiente y fue de 1,89% del peso, registrado al momento de la cosecha. Desde el punto de vista comercial, la pérdida de peso inferior al 4% en piña no es usualmente detectable por los consumidores, por lo que el tiempo de retraso en el enfriamiento de hasta 48 horas podría no tener implicaciones prácticas para esta variable.

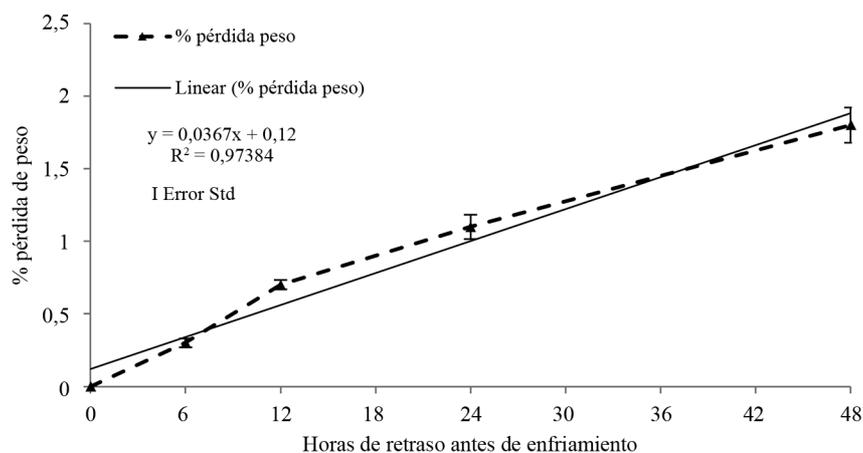


Figura 2. Pérdida de peso experimentada por frutos de piña CV. Dorada Extra Dulce expuestas a diferentes tiempos de espera antes de entrar a enfriamiento, evaluada al final del período de espera respectivo.

Luego de someter los frutos de piña a los diferentes períodos de espera, enfriarlos y posteriormente simular el transporte (21 días), se obtuvieron frutos en las condiciones en que los recibiría una persona importadora de fruta en Europa Occidental que se traslado desde Centro y Sur América. Al evaluar la pérdida de peso, en ese momento, no existieron diferencias significativas ($P=0,45$) entre tratamientos (Figura 3) aunque

todos los tratamientos evaluados perdieron entre 5,2 y 5,7% del peso registrado al momento de la cosecha. El análisis de regresión mostró la baja asociación entre los tiempos de espera previos a enfriamiento y la pérdida de peso acumulada al final de la simulación de transporte. Se destaca que esta pérdida de peso incluyó la pérdida experimentada durante los tiempos previos al enfriamiento, descritos en la Figura 2, lo que significó

que los tratamientos de 24 y 48 horas de espera, que mostraron pérdidas de peso altas en ese

período, no difirieron del resto de los tratamientos al final del período de simulación de transporte.

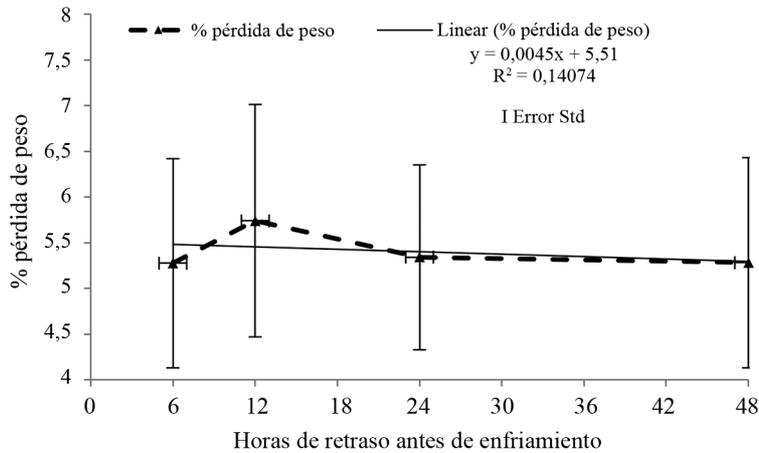


Figura 3. Pérdida de peso acumulada al finalizar la simulación de transporte (21 días a 7,5°C y 85-90% H.R.) por frutos de piña CV. Dorada extra Dulce luego de ser sometidos a diferentes tiempos de espera antes de iniciar el enfriamiento.

Desarrollo de enfermedades. Para el desarrollo de moho en el corte, se determinó que la incidencia (Figura 4) y la severidad, del promedio de los 4 ensayos (Figura 5), fueron afectadas por el tiempo de espera. El ajuste observado para estas variables es lineal

creciente con un $R^2=0,9818$ y $R^2=0,9715$, respectivamente, por lo que conforme aumentó el período de espera entre cosecha e inicio de enfriamiento y se presentó un aumento en el desarrollo de la enfermedad, tanto en incidencia como en severidad.

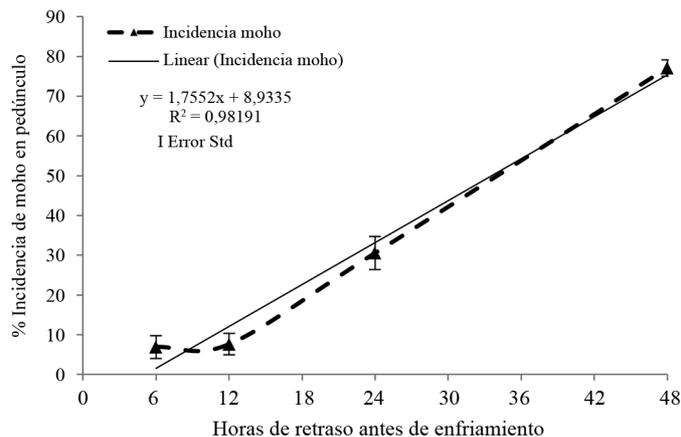


Figura 4. Incidencia de moho en la cicatriz de cosecha mostrada por frutos de piña CV. Dorada extra Dulce al finalizar simulación de transporte (21 días a 7,5°C y 85-90% H.R.), luego de ser sometidos a diferentes tiempos de espera antes de iniciar el enfriamiento.

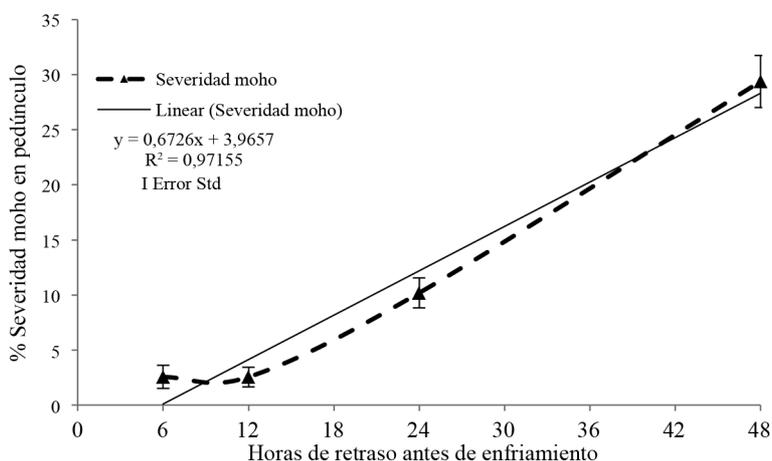


Figura 5. Severidad de moho en la cicatriz de cosecha mostrada por frutos de piña cv. Dorada Extra Dulce al finalizar la simulación de transporte (21 días a 7,5°C y 85-90% H.R.) luego de ser sometidos a diferentes tiempos de espera antes de iniciar el enfriamiento.

Variabes de calidad. La firmeza de la pulpa (Figura 6), expresada en Newtons, decreció conforme aumentó el tiempo de espera previo al enfriamiento, con un $R^2=0,6961$. Esta disminución

fue significativa entre los tiempos de espera, donde los mayores valores se observaron con los tratamientos de 6 y 12 horas y una disminución de firmeza para los tratamientos de 24 y 48 horas.

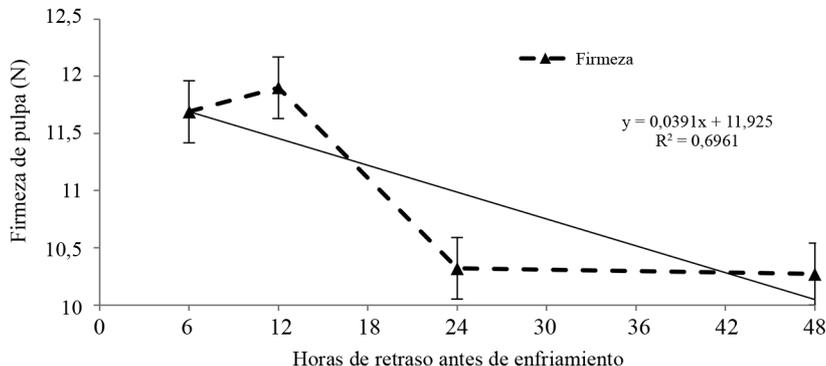


Figura 6. Firmeza de la pulpa mostrada por frutos de piña cv. Dorada Extra Dulce luego al finalizar la simulación de transporte (21 días a 7,5°C y 85-90% H.R.) luego de ser sometidos a diferentes tiempos de espera antes de iniciar el enfriamiento.

La acidez titulable (Figura 7) mostró un comportamiento estable y no se detectaron diferencias significativas entre tiempos de retraso el comportamiento general es el de una línea recta decreciente, pero con muy baja pendiente o disminución relativa ($R^2=0,8904$).

No se observaron (Figura 8) diferencias significativas entre tratamientos para el contenido de sólidos solubles totales (Brix) con una probabilidad de 0,4605. El contenido de sólidos solubles no varió por efecto de los tiempos de espera o retraso antes de enfriamiento.

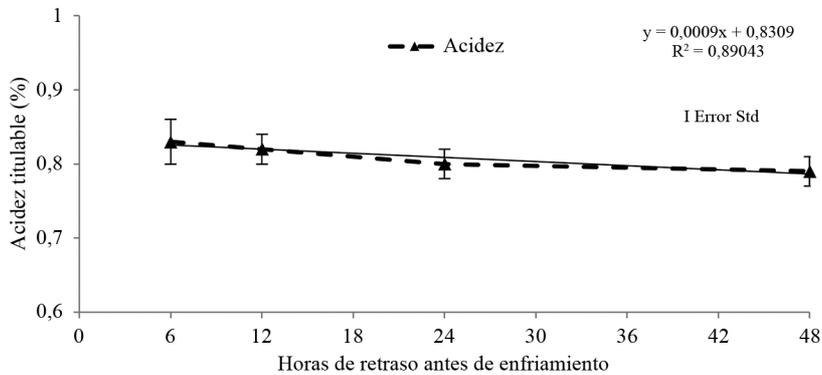


Figura 7. Acidez titulable de la pulpa mostrada por frutos de piña cv. Dorada Extra Dulce al finalizar la simulación de transporte (21 días a 7,5°C y 85-90% H.R.) luego de ser sometidos a diferentes tiempos de espera antes de iniciar el enfriamiento.

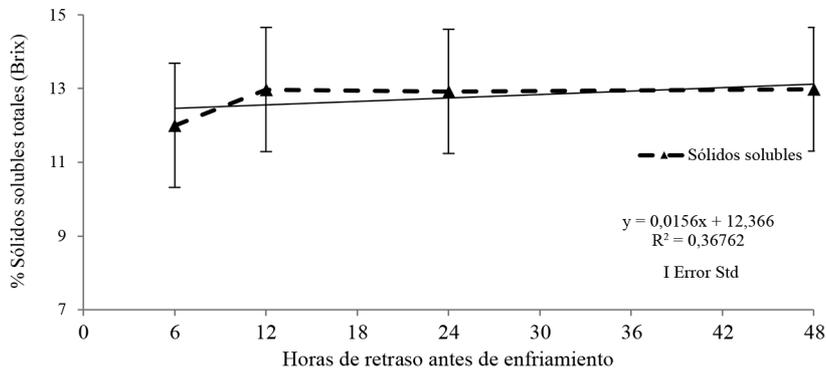


Figura 8. Contenido de sólidos solubles totales (Brix) de la pulpa mostrada por frutos de piña cv. Dorada Extra Dulce al finalizar la simulación de transporte (21 días a 7,5°C y 85-90% H.R.) luego de ser sometidos a diferentes tiempos de espera antes de iniciar el enfriamiento.

Análisis de variables de calidad medidas con escalas. Luego de 21 días de simulación de transporte, no se observaron respuestas significativas para las variables de cambio de color externo ($P=0,2108$) e interno ($P=0,3659$) ni para translucidez ($P=0,3010$).

Para este grupo de ensayos, la incidencia de DPA estuvo poco asociado con el período de espera antes de enfriamiento (Figura 9), aunque la presencia de frutículos con más de un 25% del área afectada por DPA, sí fue influenciada por los tiempos de espera (Figura 10),

lo cual resultó lógico en el tanto que este fenómeno está asociado con la pérdida de humedad en zonas específicas que estuvieron sujetas a algún tipo de daño mecánico. Por tanto, la incidencia pudo estar asociada al manejo físico de la fruta, lo que evidencia por la uniformidad de los resultados obtenidos para incidencia, que varió entre 30 y 37%, para los diferentes tiempos de espera. Se constató que la severidad estuvo asociada al aumento en tiempos de espera y, por tanto, a la mayor deshidratación observada en Figura 2.

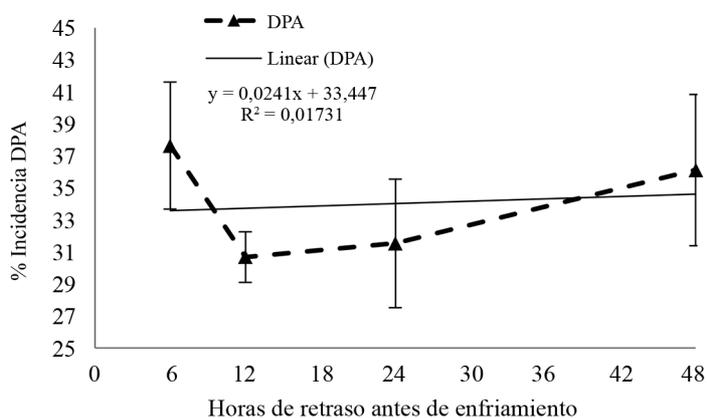


Figura 9. Incidencia de DPA mostrada por frutos de piña cv. Dorada Extra Dulce al finalizar la simulación de transporte (21 días a 7,5°C y 85-90% H.R.) luego de ser sometidos a diferentes tiempos de espera antes e iniciar el enfriamiento.

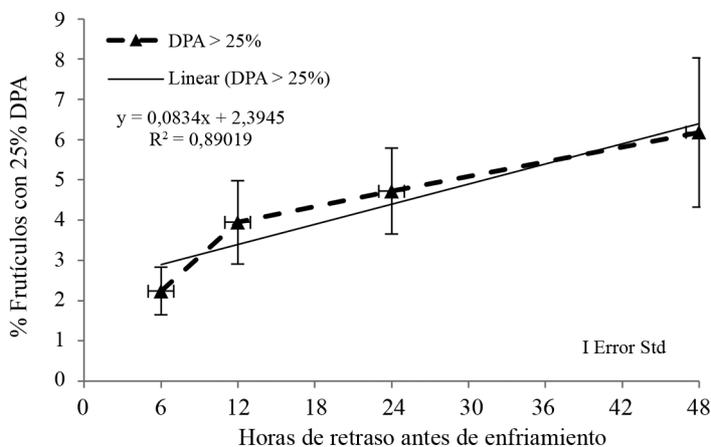


Figura 10. Porcentaje de frutículos con DPA mayores a 25% de la superficie del frutículo mostrada por frutos de piña cv. Dorada Extra Dulce al finalizar la simulación de transporte (21 días a 7,5 °C y 85-90% H.R.) luego de ser sometidos a diferentes tiempos de espera antes de iniciar el enfriamiento.

Acumulación de unidades de calor. Al haber trabajado en 2 zonas diferentes y en 2 momentos del año, las condiciones de temperatura ambiente durante los tiempos de espera evaluados fueron diferentes, por lo que, para compensar esta des-uniformidad, se utilizó el cálculo de los grados-hora (unidades de calor) al que estuvo sometida la fruta.

En Tabla 1, se muestran las unidades de calor acumuladas luego de cada período de espera antes de enfriamiento para cada uno de los ensayos

realizados; la menor cantidad de energía acumulada se obtuvo para el ensayo en la región de trópico húmedo ejecutado en octubre, que correspondió a una época de muy alta precipitación y nubosidad, mientras que los mayores valores de energía acumulada, se obtuvieron para el ensayo realizado en el trópico seco durante diciembre, que correspondió a la época seca de la zona, con altas temperaturas y alto brillo solar. El cálculo se realizó con la suma de unidades de calor acumuladas por arriba de una temperatura de 18°C.

Tabla 1. Energía acumulada en el ambiente (unidades de calor, Grados-hora) durante los tiempos de espera entre cosecha e inicio de enfriamiento: 6, 12, 24 y 48 horas, para cada ensayo realizado.

Región-Fecha	Época	Unidades de calor (grado hora)			
		Horas retraso enfriamiento			
		6 horas	12 horas	24 horas	48 horas
Trópico seco setiembre	Lluviosa	58,8	86,4	146,2	282,2
Trópico húmedo octubre	Lluviosa	53,1	76,1	114,5	240,6
Trópico seco diciembre	Seca	65,8	99,2	169,5	360,2
Trópico húmedo marzo	Seca	63,3	113,4	123	290,2
Promedio		60,25	93,775	138,3	293,3
Desviación estándar		4,83	13,98	21,43	42,97

DISCUSIÓN

La pérdida de peso de las frutas se incrementó conforme los lapsos de espera, entre cosecha e inicio de enfriamiento, fueron más amplios. Los frutos, que experimentaron 24 y 48 horas de espera, perdieron peso por arriba del 1%. Los tiempos más largos de espera implican que la tasa respiratoria del fruto estuvo en niveles más altos y, consecuentemente, se produjo mayor consumo de carbohidratos y liberación de agua. Se identificó además, que las temperaturas altas en las zonas donde se llevaron a cabo los ensayos, expusieron más pérdida de humedad por transpiración directa. Es así como se evidencia que el tiempo de espera debería ser ajustado, ya sea que se amplíe o reduzca de acuerdo con la temperatura ambiente; además deberán contabilizarse los grados-hora acumulados durante la espera.

Un segundo escenario de pérdida de peso se presentó en la evaluación a los 21 días, donde no se observaron diferencias entre tratamientos, a pesar de que esa evaluación incluyó la sumatoria del peso perdido en los periodos de espera y el peso perdido durante la simulación de transporte. El efecto observado puede explicarse por el hecho de que una mayor pérdida de peso (principalmente agua) en la fase de espera a temperatura ambiente, tiene un efecto directo sobre el potencial hídrico de las células de la epidermis

del fruto de piña y de las de la corona, que provocó que ese potencial disminuyera y el agua fuera menos proclive a evaporarse y escapar del fruto. Un fenómeno similar fue descrito por Muy *et al.* (2004), en un trabajo donde se evaluó el efecto del encerado sobre el potencial hídrico de frutos de mango y por Huigang *et al.* (2012) en una evaluación de encerado en piña cv. París, donde se encontró que la tasa diaria de pérdida de peso en piña en almacenamiento disminuye al reducirse el contenido de humedad de las células de la epidermis.

La pérdida de peso observada en esta investigación, probablemente se concentró en tejidos expuestos de la fruta y de la corona, debido a que el contenido de azúcares de la pulpa conformó una situación de muy bajo potencial hídrico que limitó la migración de agua desde la pulpa hacia el ambiente circundante.

A pesar de la deshidratación y por tanto la pérdida de turgencia de las células de la epidermis, durante la exposición a diferentes tiempos de espera antes de iniciar el enfriamiento, no se observó incremento en la incidencia de hundimiento de los bordes de frutículos (DPA). Al respecto podría argumentarse que este fue un problema asociado a condiciones de campo y transporte, especialmente, por daños mecánicos. Si se encontró una asociación entre los tiempos de espera antes de iniciar enfriamiento y la severidad del DPA, donde periodos de espera,

antes de enfriamiento más prolongados, tuvieron asociación con aumento del porcentaje de frutículos con más de un 25% de su superficie dañada por DPA. Estos hechos permitirían suponer que, para el DPA, si bien no es originado directamente por la pérdida de humedad de la fruta, la expresión y severidad de síntomas sí está vinculada a esa pérdida de humedad, la cual se aceleró al existir daños mecánicos y al haber permanecido más tiempo en espera a altas temperaturas. El tiempo de espera provocó que aumentara el riesgo de daños por compresión en frutos que permanecieron en los cajones (bins) de cosecha donde algunas frutas estuvieron sometidas a la compresión que ejercen 3 o 4 capas de frutas sobre ellas.

El aumento en la incidencia y severidad de mohos en la cicatriz de cosecha, conforme aumentó el período de espera antes de iniciar el enfriamiento, fue un fenómeno en el que confluyeron varios factores; el hecho de permanecer más tiempo sin recibir un tratamiento de desinfección o de fungicida, facultó que esporas de hongos y propágulos de otros microorganismos penetraran y generaran una infección inicial, por otra parte, la temperatura ambiente alta en las zonas de producción de piña favorecieron la germinación de esporas y su crecimiento. La humedad dentro de los cajones de cosecha tiendió a ser alta, en parte debido a la baja circulación de aire y a la acumulación del agua que se evapora de los frutos; esta humedad también favoreció el desarrollo de patógenos. Otro factor que afectó fue el tejido de la herida de cosecha, por su alta concentración de azúcares además de ser poroso e irregular, aspecto que contribuyó al desarrollo de microorganismos mencionados (Hassan *et al.* 2011). Por esta razón, la fruta con 6 horas de espera, seguida por las de 12 horas de espera antes de iniciar enfriamiento, presentaron menor desarrollo de mohos en el corte, mientras que las frutas, con lapsos de espera antes del enfriamiento más prolongados, presentaron mayor incidencia y severidad de mohos en el corte.

La alta incidencia de mohos en los pedúnculos sugiere que las condiciones de espera

favorecieron el desarrollo de infecciones, aunque también la presión de inóculo fue alta, independientemente si la fruta esperó o no para ser enfriada. Dicha situación deberá ser abordada de manera integral, por medio de medidas de limpieza del equipo e instalaciones, el control de fuentes potenciales de inóculo como fruta desechada o cualquier otro material en descomposición. También es necesaria una valoración de las prácticas de desinfección que parecieran actualmente, ser inadecuadas o ineficaces y por supuesto, trabajar con opciones de tratamiento que ofrezcan acción fungicida complementaria a las utilizadas en la actualidad.

Respecto a la firmeza, se observó una disminución de aproximadamente 1,5 Newtons, entre las 12 y 24 horas de espera antes de enfriamiento, aspecto que pudo obedecer a la acción de enzimas sobre la pared celular y lámina media, lo que redujo la cohesión de los tejidos de la pulpa. Según George *et al.* (2016), estarían involucradas pectin-metil-esterasa (PME) y poligalacturonasa (PG), entre otras, pero este mismo autor menciona que se ha observado aumento del contenido de agua en la pulpa y que su acumulación es a expensas de la cáscara, y que se mueve por efecto osmótico, debido a la alta concentración de azúcares en la pulpa. Por esta razón, una disminución en la cohesión entre células, unida a un aumento en contenido de agua, pueden ser las causas de ese ablandamiento. Además, el proceso de degradación enzimática de pared celular y lámina media, en cuyo caso podría ser más acelerado en frutos que fueron sometidos a períodos de espera más prolongados.

Por su parte, la translucidez no se afectó por tiempos de espera, pues se considera que esta condición fue influenciada por factores en campo.

En el caso de translucidez, las bajas temperaturas de almacenamiento reducen la tasa de deterioro fisiológico de la pulpa, lo cual limita la cantidad de líquido que puede fugarse de las células hacia el espacio intercelular donde da la apariencia cristalina o translúcida a la pulpa; además, la pérdida de agua en espacios

intercelulares es más rápida que la pérdida de agua celular cuyo movimiento está limitado por la membrana. Según Chen y Paull (2001), la translucidez no puede ser explicada únicamente por fuga del contenido celular, ya sea electrolitos o azúcares, puesto que hay una participación importante de la sobreproducción de foto-asimilados, en pre-cosecha, que no pueden ser absorbidos por las células y permanecen en el espacio intercelular, lo que ejerce un efecto de retención de agua y por tanto, translucidez.

Los resultados obtenidos sugieren que si un tiempo de espera mayor a 12 horas, es necesario, por razones operativas de la empacadora o por la distancia entre sitio de producción, deberá preverse la sobre-exposición al sol, ya que las capas superiores y más expuestas a la radiación solar, posiblemente soportan temperaturas superiores a las que experimentan las capas intermedias o inferiores. Aparentemente la práctica común en otros cultivos de cubrir los cajones de cosecha con algún tipo de material de protección contra la exposición directa a luz solar podría ser una alternativa viable para su consideración. Es recomendable que los patios de espera para empaque, al menos estén cubiertos con malla tipo sarán para reducir exposición al sol. Todas estas medidas, de cualquier forma, son convenientes en general para productos frescos, tanto si requieren esperar para ser enfriados o no.

Otro aspecto a considerar fue la pobre ventilación identificada en los cajones de cosecha, condición que limita la disipación de calor.

Particularmente el rediseño de cajones es un factor a considerar para favorecer la ventilación, sin sacrificar la resistencia mecánica de las frutas.

Se deberá considerar que los cambios podrían representar inversiones que tendrán que ser evaluadas tanto para la reducción de pérdidas o deterioro de calidad, así como la misma reducción en costos energéticos por operar fuera de horas de alta demanda eléctrica.

Los resultados obtenidos mostraron que períodos de espera de hasta 48 horas antes de iniciar el enfriamiento de frutos de piña, tienen

un efecto moderado sobre la calidad interna o externa de los frutos de piña, excepto para las variables de desarrollo de mohos y severidad de la deshidratación parcial de frutículos, donde, después de 12 horas de espera, sí se evidenció un incremento acelerado de la severidad de ambos daños. Si fuera necesario recurrir a la demora para iniciar enfriamiento por razones operativas o de costos energéticos, deberán considerarse varias modificaciones del sistema de manejo de la fruta y así minimizar el impacto del desarrollo de enfermedades sobre la calidad.

LITERATURA CITADA

- CANAPEP (Cámara Nacional de Productores y Exportadores de Piña). 2017. Estadísticas (en línea) Consultado 18 oct. 2017. Disponible en <https://canapep.com/documentos/>
- Chen, CC; Paull, RE. 2001. Fruit temperature and crown removal on the occurrence of pineapple fruit translucency. *Scientia Horticulturae* 88:85-95.
- Duan, Y; Wang, GB; Fawole, OA; Verboven, P; Zhang, XR; Wu, D; Opara, UL; Nicolai, B; Chen, X. 2020. Postharvest precooling of fruit and vegetables: A review. *Trends in Food Science & Technology* 100:278-291.
- Figueroa, D; Guerrero, J; Bensch, TE. 2010. Efecto del momento de cosecha y permanencia en huerto sobre la incidencia de hongos poscosecha en arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.) cvs. Berkeley, Brigitta y Elliott durante la temporada 2005-2006. *IDESIA* 28(2):9-19.
- George, DS; Razali, Z; Somasundram, C. 2016. Physicochemical changes during growth and development of pineapple (*Ananas comosus* cv. Saraeak). *Journal of Agricultural Science and Technology (JAST)* 18(2):491-503.
- Hassan, A; Othman, Z; Siriphanich, J. 2011. Pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.), In Yahia, EM (eds.). *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits*. Cambridge, Reino Unido, WoodHead Publishing Limited. p. 194-218.
- Hiroaki, K; Tatsuo, S; Nobutaka, N; Satoru, M. 2013. Effects of post-harvest cooling delay on weight loss, soluble solid and ascorbic acid contents of strawberry fruit. *Journal of Food Agriculture and Environment* 11:372-376.
- Huigang, H; Xueping, L; Chen, D; Weixin, C. 2012. Effects of Wax Treatment on the Physiology and Cellular Structure of Harvested Pineapple during Cold Storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60(26):6613-6619.

- Liu, ChE; Liu, Y. 2017. Fruit quality and differentially expressed genes of winter-harvested pineapple in response to elevated temperature over a short postharvest period. *Postharvest Biology and Technology* 130:21-27.
- Liu, ChE; Liu, Y; Kuang, SZ; Xiao, WQ. 2019. Metabolic pathways analysis and identification of heat response genes of pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.) fruit affected by elevated postharvest temperature. *Pak. J. Bot.* 51(4):1311-1316.
- Luo, H; Song, J; Toivonen, P; Gong, Y; Forney, C; Palmer, LC; Fillmore, S; Pang, XQ; Zhang, ZQ. 2018. Proteomic changes in 'Ambrosia' apple fruit during cold storage and in response to delayed cooling treatment. *Postharvest Biology and Technology* 137:66:76.
- Megersa, HG. 2017. The Influence of Cool Chain Management on the Shelf Life and Quality of Horticultural Products: Review. *Industrial Engineering Letters* 7(2):77-82.
- Mitcham, E; Crisosto, C; Kader, A. 2000. Peaches and nectarines: recommendations for maintaining postharvest quality. Division of Agriculture and Natural Resources. University of California, Oakland, California, Estados Unidos. p. 1-3.
- Muy, D; Siller, J; Díaz, J; Baldez, B. 2004. Las condiciones de almacenamiento y el encerado afectan el estado hídrico y la calidad de mango. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(2):201-209.
- Paull, R; Chen, C. 2003. Postharvest physiology, handling and storage of pineapple. In Bartholomew, DP; Paull, RE; Rohrbach, KG (eds.). *The pineapple: Botany, production and uses*. CABI publishing. p. 253-279.
- Sabater-Vilar, M; Suñe-Colell, M; Castro-Chinchilla, J; Sáenz-Murillo, MV. 2018. Reduction of postharvest rotting with an ethylene absorbent: a case study with pineapple. *Acta Hortic.* 1194:721-728.
- Thompson, J; Cantwell, M; Arpia, M; Kader, A; Crisosto, C; Smilanick, J. 2001. Effect of cooling delays on fruit and vegetable quality. *Perishables Handling Quarterly* 105:2-5.
- Tsado, EK. 2013. Removing the field heat of pineapple fruits and its effects on shelf life. *European Journal of Agriculture and Forestry Research* 1(2):16-25.
- Ulloa, L; Sáenz, MV; Castro, J. 2015. Efecto del almacenamiento a diferentes temperaturas sobre el desarrollo de color externo y la calidad de frutos de piña cv. Dorada extra dulce. *Agronomía Costarricense* 39(3):9-20.



